

А.А. ПЕТКОВ, канд. техн. наук; НТУ "ХПИ"

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

У статті наведено результати аналізу формуючих властивостей генератора імпульсів магнітного поля.

In article results of the analysis of forming properties of the pulsed generator of a magnetic field are given.

Постановка проблемы. Технические средства (ТС), эксплуатация которых производится в сложной электромагнитной обстановке, в соответствии с нормативной документацией, должны подвергаться испытаниям на стойкость к воздействию соответствующих электромагнитных факторов и, в частности, воздействию импульсов магнитного поля с целью определения качества их функционирования. Это, в свою очередь, требует разработки и создания современных средств имитации импульсов магнитного поля, воздействующих на ТС в условиях эксплуатации.

Анализ публикаций. При эксплуатации ТС на них могут воздействовать как униполярные, так и двухполярные импульсы магнитного поля [1 – 3]. В нормативном документе [1] для имитации воздействия импульсов магнитного поля на ТС рекомендуется применять генератор, схема которого приведена на рис.1.

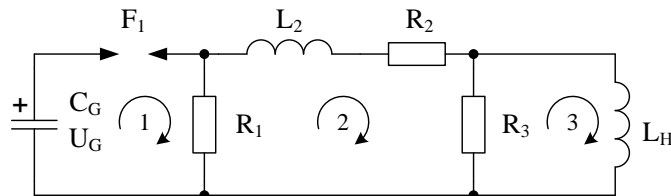


Рис.1. Эквивалентная электрическая схема разрядной цепи генератора.

U_G , C_G – зарядное напряжение и емкость накопителя энергии; F_1 – коммутатор; R_1 , R_2 , R_3 – формирующие резисторы; L_2 – формирующая индуктивность; L_H – индуктивность системы полеобразования.

Как указано в [1], данный генератор обладает широкими возможностями регулирования контролируемых параметров импульса тока в системе полеобразования (а значит и параметров импульса магнитного поля, воздействующего на ТС). Однако в описании генератора отсутствуют рекомендации по

выбору формирующих элементов разрядной цепи, что существенно затрудняет процесс его проектирования.

Целью настоящей статьи является определение областей соотношения параметров элементов разрядной цепи генератора, обеспечивающих формирование импульса магнитного поля требуемой формы.

Материалы и результаты исследования. Можно показать, что переходный процесс в генераторе описывается следующей системой уравнений, представленных в нормированном виде:

$$\begin{cases} \int I_1 d\tau + r_1(I_1 - I_2) = 1; \\ L_{2H} \frac{dI_2}{d\tau} + (r_1 + r_2 + r_3)I_2 - r_1I_1 - r_3I_3 = 0; \\ r_3(I_3 - I_2) + \frac{dI_3}{d\tau} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\tau = \frac{t}{\sqrt{L_H C_G}}$ – безразмерный аналог времени; (2)

$$r_k = \frac{R_k}{\sqrt{L_H / C_G}}, \quad k = \overline{1, 3} \text{ – безразмерные аналоги активных сопротивлений;} \quad (3)$$

$$I_J = \frac{i_J}{U_G} \sqrt{\frac{L_H}{C_G}}, \quad J = \overline{1, 3} \text{ – безразмерные аналоги контурных токов;} \quad (4)$$

$$L_{2H} = L_2 / L_H \text{ – безразмерный аналог индуктивности;} \quad (5)$$

i_J – контурные токи;

J – номер контура (направление обхода контуров показаны на рис. 1).

Как видно из схемы (см. рис.1) и системы (1), в индуктивности системы полеобразования L_H , в зависимости от соотношения параметров разрядной цепи, могут быть сформированы импульсы тока второго и третьего порядка (определение порядка импульса тока дано в соответствии с [4]). Предварительный анализ показывает существенное влияние соотношения параметров разрядной цепи генератора на форму импульса тока (магнитного поля) и его контролируемые параметры (определение контролируемых параметров импульса рассмотрено автором в [5, 6]). Для систематизации режимов разряда генератора (областей формирования импульсов определенной формы) был рассмотрен ряд частных случаев схемы его разрядной цепи при предельных соотношениях параметров. Из решения системы (1) с использованием мате-

риалов [7] автором получены коэффициенты аналитических выражений, описывающих импульс тока второго порядка, протекающего в системе полеобразования. Выражения для импульса тока в нормированном виде и значения коэффициентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Соотношения между элементами схемы	апериодический режим разряда	колебательный режим разряда
	$I(\tau) = A \frac{(e^{q_1 \tau} - e^{q_2 \tau})}{q_1 - q_2},$ $q_{1,2} = -b \pm \sqrt{b^2 - a}$	$I(\tau) = A \frac{e^{-b\tau} \sin(\omega \tau)}{\omega},$ $\omega = \sqrt{a - b^2}$
$r_1 = \infty;$ $r_3 = \infty;$ $L_{2H} = 0;$	$A = 1; b = \frac{r_2}{2}; a = 1$	
$r_1 = \infty;$ $r_2 = 0;$ $L_{2H} = 0$	$A = 1; b = \frac{1}{2r_3}; a = 1$	
$r_2 = 0;$ $r_3 = \infty;$ $L_{2H} = 0$	$A = 1; b = \frac{1}{2r_1}; a = 1$	
$r_1 = \infty;$ $L_{2H} = 0;$	$A = 1; b = \frac{r_2 r_3 + 1}{2(r_2 + r_3)}; a = \frac{r_3}{r_2 + r_3}$	
$r_3 = \infty;$ $L_{2H} = 0$	$A = 1; b = \frac{1 + r_1 + r_2}{2r_1}; a = \frac{r_1 + r_2}{r_1}$	
$L_{2H} = 0$	$A = \frac{r_3}{r_2 + r_3}; b = \frac{r_1 r_2 r_3 + r_1 + r_2 + r_3}{2r_1(r_2 + r_3)}; a = \frac{r_3}{r_1} \cdot \frac{r_1 + r_2}{r_2 + r_3}$	

Данные таблицы содержат все варианты, позволяющие получить импульс второго порядка. Для первых четырех вариантов в табл. 2 приведены области соотношения для элементов схемы, при которых формируется критический (Кр), колебательный (Ко) и апериодический (Ап) импульс магнитного поля. В последней графе табл. 2 даны буквенные обозначения пределов изменения для T_D/T_H – отношения параметра, характеризующего длительность импульса к параметру, характеризующему длительность нарастания импульса.

Таблица 2

Соотношения между элементами схемы	Вид разряда	Условие для соответствующего вида разряда	$\frac{\partial D}{\partial I}$
$r_1 = \infty;$ $r_3 = \infty;$ $L_{2H} = 0$	Ко	$0 < r_2 < 2$	от Q_0 при $\{r_2 \rightarrow 0\}$ до Q_1 при $\{r_2 \rightarrow 2\}$
	Кр	$r_2 = 2$	Q_1
	Ап	$r_2 > 2$	$> Q_1$
$r_1 = \infty;$ $r_2 = 0;$ $L_{2H} = 0$	Ко	$0,5 < r_3 < \infty$	от Q_0 при $\{r_3 \rightarrow \infty\}$ до Q_1 при $\{r_3 \rightarrow 0,5\}$
	Кр	$r_3 = 0,5$	Q_1
	Ап	$0 < r_3 < 0,5$	$> Q_1$
$r_2 = 0;$ $r_3 = \infty;$ $L_{2H} = 0$	Ко	$0,5 < r_1 < \infty$	от Q_0 при $\{r_1 \rightarrow \infty\}$ до Q_1 при $\{r_1 \rightarrow 0,5\}$
	Кр	$r_1 = 0,5$	Q_1
	Ап	$0 < r_1 < 0,5$	$> Q_1$
$r_1 = \infty;$ $L_{2H} = 0$	Ко	$\frac{1}{r_3} - 2 < r_2 < \frac{1}{r_3} + 2,$ $0 < r_3 < 0,5$	от Q_2 при $\{r_3 \rightarrow 0,5;$ $r_2 \rightarrow 1\}$ до Q_1 при $\{r_3 \rightarrow 0\}$
		$0 < r_2 < \frac{1}{r_3} + 2, \quad 0,5 < r_3 < \infty$	от Q_0 при $\{r_3 \rightarrow \infty;$ $r_2 \rightarrow 0\}$ до Q_1 при $\left\{ \begin{matrix} r_3 \rightarrow 0,5; r_2 \rightarrow 0, \\ r_3 \rightarrow 0,5; r_2 \rightarrow 4, \end{matrix} \right\}$
	Кр	$r_2 = \frac{1}{r_3} + 2, \quad 0 < r_3 < \infty;$ $r_2 = \frac{1}{r_3} - 2, \quad 0 < r_3 < 0,5$	Q_1
	Ап	$r_2 > \frac{1}{r_3} + 2, \quad 0 < r_3 < \infty;$ $0 < r_2 < \frac{1}{r_3} - 2, \quad 0 < r_3 < 0,5;$	$> Q_1$

Численные значения отношений, определенные в соответствии с [5, 6] для различных способов задания контролируемых параметров приведены в табл. 3. Особое внимание при проектировании генератора следует обратить на использование частного случая $r_1 = \infty$, $L_{2H} = 0$. Как видно из табл. 2, у этого варианта схемы разрядной цепи имеются две области соотношений параметров с аperiodическим и колебательным видом импульсов магнитного поля.

Таблица 3

$\frac{\dot{O}_D}{\dot{O}_I}$	Q_0	Q_1	Q_2
$\frac{\dot{O}_{\dot{E}(0,5)}}{\dot{O}_{\dot{I}(0,1;0,9)}}$	2,05	4,3	3,88
$\frac{\dot{O}_{\dot{E}(0,1;0,9;0,5)}}{\dot{O}_{\dot{O}(0,1;0,9)}}$	2,07	3,8	3,48
$\frac{\dot{O}_{C(0,5)}}{\dot{O}_{max}}$	1,67	2,7	2,5
$\frac{\dot{O}_{\dot{E}(0,9)}}{\dot{O}_{max}}$	2,57	0,93	0,88

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: \dot{O}_{max} - время достижения импульсом наибольшего значения; $\dot{O}_{H(0,1;0,9)}$ - время нарастания на фронте значений импульса от уровня 0,1 до уровня 0,9 от максимального значения; $\dot{O}_{\dot{O}(0,1;0,9)} = 1,25 \cdot \dot{O}_{H(0,1;0,9)}$ - длительность фронта импульса, спрямленная по уровням 0,1 и 0,9 от максимального значения; $\dot{O}_{\dot{E}(0,5)}$, $\dot{O}_{\dot{E}(0,9)}$ - длительность импульса соответственно на уровне 0,5 и 0,9 от максимального значения; $\dot{O}_{\dot{E}(0,1;0,9;0,5)}$ - длительность импульса, определяемая по его графику как промежуток времени между моментом пересечения оси времени прямой, соединяющей на фронте точки соответствующие уровням 0,1 и 0,9 от максимального значения и моментом достижения импульсом значения 0,5 на спаде.

Приведенные в работе материалы позволяют определить возможность формирования требуемых импульсов магнитного поля, исходя из отношения временных параметров импульса и допустимой области соотношения параметров элементов. Выбор параметров элементов разрядной цепи генератора при заданной форме импульса и конкретных значениях контролируемых параметров может быть осуществлен с использованием материалов, приведенных: в [5, 6, 8] для варианта $r_1 = \infty$, $r_3 = \infty$, $L_{2H} = 0$; в [9] для варианта

$r_1 = \infty$, $L_{2H} = 0$. Для вариантов $r_1 = \infty$, $r_2 = 0$, $L_{2H} = 0$ и $r_2 = 0$, $r_3 = \infty$, $L_{2H} = 0$ вопрос выбора параметров элементов требует дополнительного рассмотрения.

Выводы.

1. Выведены соотношения для расчета переходных процессов в генераторе импульсов магнитного поля в нормированном виде.
2. Определены области изменения соотношения безразмерных параметров разрядной цепи для формирования импульсов второго порядка аperiodической и колебательной формы.
3. Установлены значения границ диапазона изменения отношения временных параметров импульса магнитного поля при различных его формах и способах задания их контролируемых параметров.

Список литературы: 1. ГОСТ Р 50649-94 Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1994. – 20 с. 2. Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с. 3. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с. 4. Петков А.А. Формирование испытательного импульса тока в активно-индуктивной нагрузке // Электротехника. – 2006. – №4. – С. 34 - 37. 5. Петков А.А. Расчет параметров разрядной цепи высоковольтных импульсных испытательных устройств, формирующих импульсы аperiodической формы // Электротехника та електроенергетика. – 2005. – №1. – С. 65 - 69. 6. Петков А.А. Выбор параметров разрядной цепи высоковольтных импульсных испытательных устройств при различных способах задания контролируемых параметров испытательных импульсов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПИ". – №17. – 2006. – С. 105 – 111. 7. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях – М. Высш. школа, 1967. – 387 с. 8. Китаев Г.И. Выбор параметров разрядной цепи генератора импульсов тока // Электротехника. – 1987. – №4. – С. 15. 9. Смирнов С.М., Терентьев П.В. Генераторы импульсов напряжения. – М.: Энергия, 1964. – 239 с.

Поступила в редколлегию 23.11.06.